

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИИ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИРИТОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

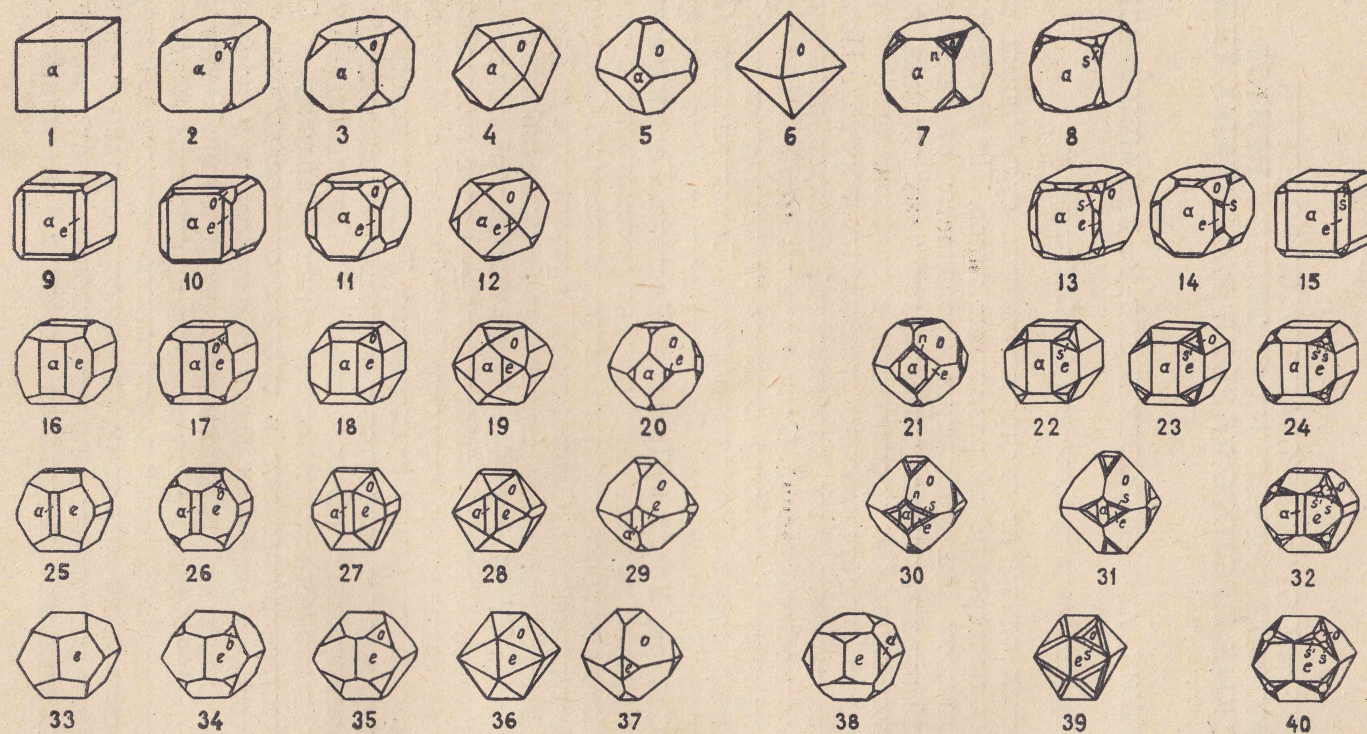
А. Я. ПШЕНИЧКИН, А. Ф. КОРОБЕЙНИКОВ, А. В. МАЦЮШЕВСКИЙ

(Представлена профессором А. М. Кузьминым)

Пирит является одним из распространенных сульфидных минералов золоторудных месторождений различных типов. По времени своего образования в каждом месторождении проявляется от одной до нескольких генераций пирита, отвечающих определенным стадиям и ступеням минералоотложения. Он проявляется в золотоносных кварцевых жилах, прожилках и гидротермально измененных породах. Поэтому с целью выявления типоморфных особенностей пиритов различных типов золоторудных месторождений были изучены морфология кристаллов и термоэлектрические свойства пиритов из кварцевых жил и околорудно измененных пород Коммунарковского, Балахчинского, Ольховского, Тарданского, Березовского, Любавинского и Многовершинного месторождений Сибири, Урала и Дальнего Востока. Геологические особенности месторождений достаточно подробно рассмотрены в литературе и поэтому на этом вопросе здесь не останавливаемся. Следует лишь указать, что Коммунарское, Ольховское, Балахчинское и Тарданское месторождения размещаются в структурно-фациальной зоне салаирского цикла консолидации Саяно-Алтайской складчатой области; Березовское — в герцинидах Урала; Любавинское — в зоне мезозойской активизации древних складчатых структур Забайкалья, а Многовершинное связано с мезокайнозойским вулканизмом Тихоокеанского складчатого пояса. Месторождения относятся к жильным, штокверковым (Коммунарское, Балахчинское, Березовское, Любавинское, Многовершинное) и контактово-метасоматическим типам (Тарданское, Ольховское) и преимущественно тяготеют к вулканогенно-осадочным толщам различного возраста, разбитым на блоки продольными и поперечными разрывами и прорванными гранитоидными интрузиями. Золоторудные поля имеют складчато-блоковое строение и приурочены к узлам наибольшего усложнения складчатых и разрывных структур. Месторождения пространственно и, по-видимому, генетически связаны с гранитоидным магматизмом и размещены в приконтактных зонах или эндоконтактах гранодиоритовых интрузивов средних и малых глубин (до 5—1,5 км).

По характеру околорудных процессов (развитие березитов, альбититов, мусковитовых метасоматитов) и гомогенизации газожидких включений в кварцах (240—460°С) процессы минералообразования изученных месторождений относятся к высоко- и среднетемпературным.

Изучению морфологии кристаллов пирита в связи с условиями их образования посвящен ряд работ [1, 2, 5, 9 и др.]. Однако по золоторуд-



$\alpha\{100\}; e\{210\}; o\{111\}; s\{321\}; s'\{312\}; d\{110\}; n\{211\}$

Рис. 1. Морфологические типы кристаллов пирита из золотокварцевых жил и околорудно измененных пород

ным месторождениям такие сведения крайне ограничены. Поэтому авторы попытались хотя бы частично восполнить этот пробел. В результате детального изучения морфологических особенностей кристаллов пирита указанных месторождений было установлено наличие семи простых форм: a (100), e (210), o (111), d (110), n (211), s (321), s^1 (312), которые встречаются в следующих комбинациях: (100), (111); (100), (111), (211); (100), (321); (100), (210); (100), (210), (111); (100), (210), (111), (321); (100), (210), (321); (100), (210), (111), (211); (100), (210), (111), (321), (312); (210), (111); (210), (111), (321); (210), (111), (321), (312); (210), (110) и в виде простых форм: (100), (210), (111). В зависимости от развитости тех или иных форм выделено 40 морфологических типов кристаллов (рис. 1). Исследованиями установлено, что в различных месторождениях количество комбинационных типов кристаллов пирита различно. Например, в кварцево-рудных жилах Коммунарского, Ольховского, Тарданского и Любавинского золоторудных полей зафиксировано наибольшее количество комбинационных типов кристаллов — 23, 22, 24 и 20 соответственно (рис. 2). Наоборот, пириты гидротермаль-

Типы кристаллов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40				
Месторождения																																												
Любавинское	●	●	●	○	○				●	○	○	○	○	○	○	○	○								○	○		○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Тардан	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Березовское	○	○					○	○							○	○									○								○										○	
Балахчино	●	●	●		○		○	○	○							○	○					○						○																
Коммунар	○	○	○						○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ольховка	○	○	○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Многовершинное	●	●							○	○							○	○																										

●-1

○-2

○-3

●-1 ○-2 ○-3

Рис. 2. Частота встречаемости типов кристаллов пирита в кварцевых жилах и околорудно измененных вмещающих породах $\frac{\text{кварцевые жилы}}{\text{вмещающие породы}} : 1$ — преобладающий тип, 2 — распространенный тип, 3 — спорадически встречающийся тип.

но измененных вмещающих пород (березито-листвениты) этих же рудных полей резко обеднены комбинационными типами. Пириты золоторудных жил месторождений Балахчино, Березовского и Многовершинного также бедны комбинационными типами, а количество комбинаций кристаллов пирита как жил, так и вмещающих пород почти одинаково (10—9, 8—8, 6—5 соответственно, рис. 2).

Частота встречаемости различных типов кристаллов пирита описываемых месторождений показана на рис. 2. Из него видна закономерность распространения кристаллов пирита, которая выражается в периодичности появления кристаллов, отвечающей порядковым номерам 1, 9, 16, 25, 33. А эти номера отвечают началу горизонтальных рядов схемы морфологических типов кристаллов рис. 1. Как показывают рис. 1 и 2, наиболее развитыми на месторождениях являются кристаллы пиритов первых трех вертикальных рядов, представленные простыми формами (100) и (210) и комбинациями (100), (210) и (111). Эти типы кристаллов являются общими как для золото-кварцевых жил, так и для

гидротермально измененных пород. Более сложные формы кристаллов пирита относятся к специфичным (типоморфным) для каждого месторождения (рис. 1—3). График развитости граней в комбинациях кристаллов пирита различных месторождений (рис. 3) также показывает, что наиболее развитыми формами пирита для золото-кварцевых жил являются формы {100}, {210} и частично {111}, а для вмещающих гидротермально измененных пород — {100} и {210}.

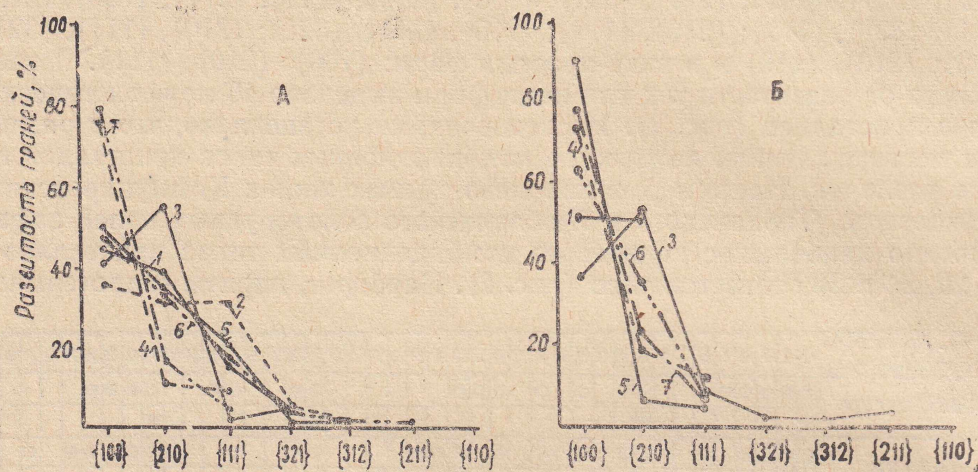


Рис. 3. График развитости граней в комбинациях кристаллов пирита (А — в кварцевых жилах, Б — в окolorудно измененных породах). Месторождения: 1 — Любавинское, 2 — Тардан, 3 — Березовское, 4 — Балахчинское, 5 — Коммунарское, 6 — Ольховское, 7 — Многовершинное

На месторождениях Балахчино, Березовском и Многовершинном пириты как кварцевых жил, так и гидротермально измененных боковых пород характеризуются почти одинаковой развитостью граней в кристаллах (рис. 3). Эта особенность пиритов, по-видимому, объясняется близкими условиями их образования, т. е. близко одновременным их возникновением как в кварцевых жилах, так и во вмещающих породах. На это же указывает и одинаковый набор элементов-примесей в пиритах жил и гидротермально измененных боковых пород (рис. 4).

Месторождения	Mn	Ti	Ni	Co	Cr	V	Cu	Pb	Zn	Bi	As	Au	Ag	Sb	Te	W	Sr	Mo	Ba	Ga	Cu Zn	Pb Zn	Co Ni
ЛЮБАВИНСКОЕ																					0.17	0.17	1.1
ТАРДАН																					5.0	0.03	10.0
БЕРЕЗОВСКОЕ																					0.43	0.43	0.5
БАЛАХЧИННО																					1.33	3.33	0.07
КОММУНАР																					0.7	1.4	0.24
ОЛЬХОВКА																					0.7	1.67	0.7
МНОГОВЕРШИННОЕ																					0.7	1.0	2.5
																					1.3	0.03	20.0
																					3.3	0.33	0.9
																					1.4	4.0	3.3
																					0.5	3.0	0.7

! < 0.001 | 0.001-0.005 | 0.006-0.01 | 0.011-0.05 | 0.051-0.1 | > 0.1 %

Рис. 4. Распределение элементов-примесей в пиритах окolorудно измененных пород и кварцевых жил (кварцевые жилы, вмещающие породы)

Кратко рассмотрим кристалломорфологические особенности пиритов различных золоторудных месторождений.

Форма a (100) является наиболее распространенной как в кварцевых жилах, так и во вмещающих породах всех месторождений, за исключением Березовского. Но наиболее характерна эта форма кристаллов пирита для Коммунарковского, Балахчинского и Многовершинного месторождений. Грани (100) кристаллов пирита почти всегда покрыты комбинационной штриховкой (по классификации [3]), параллельной оси зоны [001], и особенно пириты измененных боковых пород. Нередко на гранях (100) появляется лестничная комбинационная штриховка с полигональными слоями нарастания, особенно у кристаллов комбинации (100), (111). Нарастание слоев происходит либо из одного, либо из нескольких центров. В последнем случае могут возникать положительные и отрицательные формы рельефа граней (100). Очень редко грани (100) пирита ровные, блестящие и не несут на себе даже следов комбинационной штриховки. Иногда на гранях (100) появляются вицинали и субиндивиды куба и комбинации (100) с (210) (Многовершинное, Ольховское месторождения). При этом штриховка на гранях субиндивида и кристалла-хозяина, как правило, совпадает.

Форма e (210) в своем развитии уступает кубу, но так же, как и куб, является преобладающей по отношению к другим формам и определяет облик кристаллов пирита всех типов месторождений. Но особенно она характерна для пиритов жил и березитов Березовского месторождения (рис. 2). Грани (210) обычно ровные, блестящие, без следов комбинационной штриховки, но иногда покрыты резкой вертикальной штриховкой как сплошной (Балахчинское, Коммунарское, Любавинское, Многовершинное), так и прерывистой (Ольховское). Как правило, густота штриховки увеличивается к центральным вертикальным ребрам кристаллов пирита. В случаях, когда кристаллы пирита отвечают 36-му типу (рис. 1), на гранях (210) появляется лестничная комбинационная штриховка с полигональными или треугольными слоями роста. Для полигональных слоев одни линии слоев параллельны вертикальному ребру грани (210), а другие (как и в случае треугольных слоев) образуют с этим ребром угол 40—45°. Кристаллы пирита Березовского месторождения характеризуются своеобразной штриховкой граней (210). На гранях (210) наблюдается горизонтальная штриховка или комбинация горизонтальной и вертикальной штриховки, как результат послойного роста граней. Нередко штриховка на грани (210) принимает очень сложный узор за счет вицинальных образований. В общем случае преобладает горизонтальная штриховка.

Форма o (111) встречается во многих кристаллах пиритов золоторудных месторождений. Однако по своему развитию грани (111) намного уступают граням (100) и (210). В кварцевых жилах Березовского, Балахчинского, Многовершинного месторождений грань (111) обычно только притупляет вершины кристаллов на выходах кристаллографических осей третьего порядка. На месторождениях Коммунар, Ольховка, Любовь грань (111) кристаллов пирита нередко доминирует над другими, и кристаллы приобретают октаэдрический облик. В скарново-золоторудном месторождении Тардан грань (111) одинаково развита с гранями (100) и (210) кристаллов пирита. В гидротермально измененных вмещающих породах всех типов месторождений грань (111) в кристаллах пирита занимает резко подчиненное значение или отсутствует совсем. Поверхности грани (111) обычно ровные, блестящие, без следов штриховки. Лишь на наиболее развитых гранях (111) появляются треугольники роста с образованием сложных узоров благодаря многоцентровому росту граней. Ориентировка линий слоев, образующих треуголь-

ники роста, по отношению к ребрам октаэдра закономерна: углы между ребрами октаэдра и линиями треугольников роста равны 90 и 30° соответственно. Нередко на гранях (111) появляются вицинали, что особенно характерно для пиритов Коммунарковского рудного поля.

Ф о р м а *s* (321) появляется редко, хотя и встречается в 12 типах комбинаций: 8, 13, 14, 15, 22, 23, 24, 30, 31, 32, 39 и 40 (рис. 1). В большинстве золоторудных месторождений в пиритах кварцево-золоторудных жил грань (321) слабо развита, и лишь в березитах Березовского месторождения грань (321) в комбинации с гранью (312) (типы 32, 40, рис. 1) встречается довольно часто. На месторождениях Балахчино и Многовершинном в пиритах грань (321) не встречена.

Ф о р м а *n* (211) относится к числу редких и встречается только в трех типах комбинаций: 7, 21 и 30 (Березовское, Балахчинское и Любавинское месторождения). В пределах Березовского и Балахчинского месторождений грань (211) в комбинации с (110) и (111) образует 7-й тип кристаллов пирита и встречается как в кварцево-рудных жилах, так и во вмещающих березитах.

Ф о р м а *d* (110) встречена в кристаллах пиритов только Коммунарковского рудного поля и скорее всего является формой растворения.

Термоэлектрические свойства (ТЭДС) пиритов изучались многими исследователями в связи с диагностикой минералов [4] и при металло-генических исследованиях [6, 7, 8,]. Исследования показали, что «чистые» от примесей пириты обладают дырочной (*p*) проводимостью, а с примесями Ti^{+3} , Ni^{+3} , Cr^{+3} , V^{+3} , Sn^{+4} , изоморфно замещающих двухвалентное железо, пирит приобретает электронную (*n*) проводимость. Наоборот, примеси одновалентных металлов (Au^{+1} , Ag^{+1} , Cu^{+1} , Tl^{+1}) усиливают эффект дырочной проводимости.

Учитывая то обстоятельство, что возможность изоморфного вхождения трехвалентных металлов в решетку пиритов с возрастанием температур минералообразования увеличивается (а следовательно, и возрастает роль электронной проводимости кристаллов), многие авторы приходят к выводу о возможности использования ТЭДС пиритов для палеотемпературных целей. В связи с этим для выявления особенностей пиритов различных типов золоторудных месторождений, установления геохимических признаков отличия пиритов одних месторождений от других, кроме морфологии и элементов-примесей пиритов, были изучены термоэлектрические свойства.

Измерение ТЭДС пиритов проводилось на установке, смонтированной по схеме В. Г. Прохорова [7]. Замер ЭДС осуществлялся милливольтметром типа Р-325/У. Electroды применялись медные, игловидной формы. Измерение ТЭДС всех пиритов производилось при температуре 250° С. Температура на горячем электроде определялась с помощью хромель-капелевой термопары. Результаты измерений сведены в гistogramмы ТЭДС пиритов различных месторождений золота (рис. 5). Из гistogramм видно, что пириты из жил и вмещающих пород обладают электронной (*n*) и дырочной (*p*)-проводимостью. Исключение составляют только пириты Любавинского месторождения, обладающие в основном только электронной проводимостью, и Многовершинного месторождения, обладающие только дырочной проводимостью. Для гistogramм ТЭДС пиритов характерна многовершинность, что, по-видимому, отражает наличие нескольких генераций пиритов во многих золоторудных месторождениях.

Кратко рассмотрим ТЭДС пиритов отдельных месторождений. Пириты Любавинского месторождения обладают только электронной проводимостью и в единичных кристаллах проявляется дырочная. На гistogramме заметна двувёршинность в распределении ТЭДС и особенно

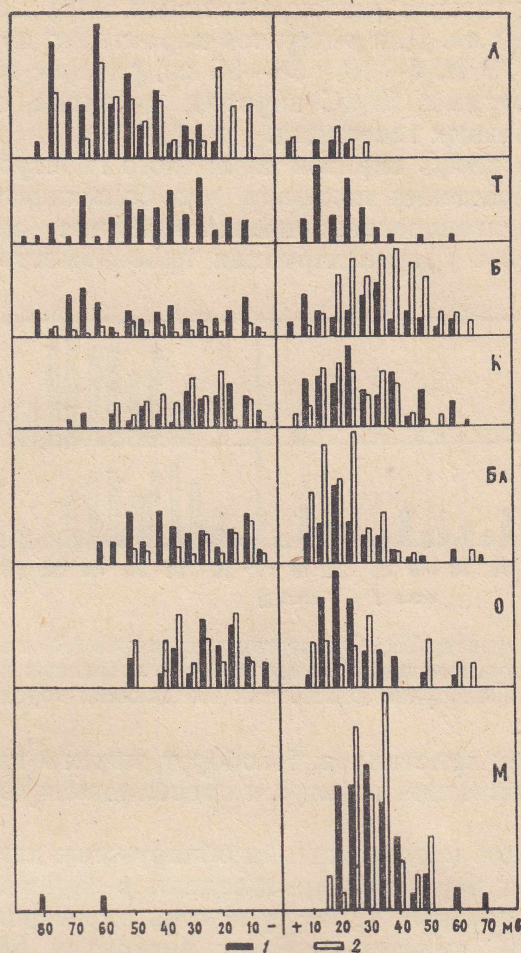


Рис. 5. Гистограмма ТЭДС пиритов. Месторождения: Л — Любавинское, Т — Тардан, Б — Березовское, К — Коммунар, Бл — Балахчинское, О — Ольховское, М — Многогоршинское: 1 — в кварцевых жилах, 2 — в околорудно измененных породах

для пиритов измененных боковых пород, что скорее всего указывает на две генерации пиритов: раннюю, в связи с формированием гидротермально измененных пород, и позднюю, в связи с формированием кварцево-рудных жил. Модальное значение отвечает 55—60 и 70—75 мв в кварцевых жилах и 15—20, 55—60 мв в боковых породах, разброс от 10 до 80 мв. Пириты Тарданского скарново-золоторудного месторождения обладают дырочной и электронной проводимостью. Для *n*-пиритов отмечается нечетко выраженная двувёршинность гистограммы ТЭДС, модальное значение отвечает интервалам 20—25 и 60—65 мв, разброс от 10 до 85 мв. У *p*-пиритов наблюдается асимметричная одновершинность в распределении ТЭДС, модальное значение отвечает интервалу 10—15 мв, разброс от 10 до 60 мв. Пириты Березовского месторождения обнаруживают как электронную, так и дырочную проводимость. Во вмещающих березитах выявляются в основном *p*-пириты, характер распределения ТЭДС которых близок логнормальному. Модальное значение отвечает интервалу 35—40 мв, разброс от 10 до 70 мв. В пиритах из вмещающих березитов электронная проводимость выявляется только в сколах кристаллов, что, по-видимому, можно объяснить нарушением структуры кристаллов. Жильные пириты Березовского месторождения характеризуются дырочной и электронной проводимостью. У *n*-пиритов фиксируется неясно выраженная трехвершинность, гистограммы распре-

деления ТЭДС, модальное значение которых 5—10, 30—35 и 60—65 мв, разброс от 10 до 80 мв. Для *p*-пиритов характерна двувершинность. Модальное значение ТЭДС 5—10 и 30—35 мв, разброс от 5—75 мв. Многовершинность гистограмм ТЭДС пиритов, очевидно, обусловлена наложением пиритов разных генераций.

Исследование ТЭДС пиритов различного габитуса из березитов Березовского месторождения показало, что большинство кристаллов кубического и пентагондодекаэдрического облика обладают дырочной проводимостью (рис. 6). Электронная проводимость зафиксирована в

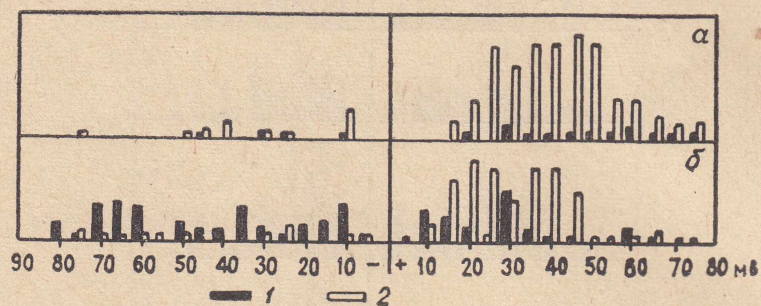


Рис. 6. Характер ТЭДС пентагондодекаэдров (А) и гексаэдров (Б) Березовского месторождения: 1 — в кварцевых жилах, 2 — в окологрудно измененных вмещающих породах

основном на сколах кристаллов. Наоборот, пириты кварцевых жил имеют в основном кубический габитус и преобладающую электронную проводимость.

В Балахчинском месторождении обнаружены как *n*-, так и *p*-пириты. Во вмещающих березитах преобладают *p*-пириты, гистограмма распределения ТЭДС которых характеризуется одновершинностью. Модальное значение ТЭДС пиритов отвечает интервалу 20—25 мв, разброс от 10 до 65 мв. Для жильных *n*-пиритов Балахчинского месторождения характерна двувершинность гистограммы распределения ТЭДС. Модальное значение — 5—10 и 35—40 мв, разброс от 5 до 60 мв. У *p*-пиритов кварцевых жил характер распределения ТЭДС сходен с таковым *p*-пиритов из березитов.

Пириты Коммунарковского рудного поля обладают электронной и дырочной проводимостью. Характер распределения ТЭДС на гистограмме имеет тенденцию к левоасимметричной одновершинности. У пиритов из кварцевых жил проявляется *n*- и *p*-проводимость, причем для *n*-пиритов модальное значение составляет 15—20 мв, разброс от 10 до 80 мв, а для *p*-пиритов — 20—25 мв, разброс от 10 до 65 мв. У *n*-пиритов вмещающих пород модальное значение составляет 20—25 мв, а у *p*-пиритов — 15—20 мв.

Для Ольховского месторождения характерны как *n*-пириты, так и *p*-пириты. В кварцево-рудных жилах преобладают *p*-пириты, а распределение ТЭДС на гистограмме определяется одновершинной левоасимметричной кривой. Модальное значение ТЭДС этих пиритов отвечает 15—20 мв, разброс от 10 до 60 мв. Для *n*-пиритов жил модальное значение ТЭДС отвечает 20—25 мв, разброс 10—50 мв. Пириты из вмещающих пород также характеризуются электронной и дырочной проводимостью. Модальное значение ТЭДС для *n*-пиритов — 10—15, 30—35 мв, разброс — 5—50 мв; для *p*-пиритов — 25—30 мв, разброс — 10—65 мв.

Пириты Многовершинного приповерхностного месторождения характеризуются только дырочной проводимостью. Распределение ТЭДС на гистограмме одновершинное, левоасимметричное. Модальное значе-

ние ТЭДС в жильных пиритах 25—30 мВ, разброс 20—70 мВ; в пропили-тах и кварцитах—30—35 мВ, разброс 15—50 мВ. Тем самым подчеркива-ются близкие физико-химические условия отложения пиритов в жилах и вмещающих гидротермально измененных породах.

Выводы

На основании изучения кристалломорфологии, термоэлектрических свойств и элементов-примесей пиритов золоторудных месторождений различных типов можно сделать следующие общие выводы.

1. Типичными формами пиритов золоторудных месторождений являются (100), (210), (111) редко встречаются (321), (312), (211) и (110). Наиболее часто кристаллы пиритов представлены в виде комбинаций (100), (210), (111) и в виде простых форм (100) и (210) (т. е. кристаллы первых трех вертикальных рядов рис. 1). Эти типы кристал-лов типичны для золото-кварцевых жил и околорудно измененных по-род. Типоморфными формами кристаллов пирита для каждого место-рождения в отдельности будут наиболее сложные комбинации форм (начиная с 4—5-го вертикального ряда рис. 1).

2. Для пиритов золото-кварцевых жил всех изученных месторож-дений свойственны грани (100) и (210), а для некоторых месторожде-ний (Коммунар, Тардан, Ольховка) — (111). Наиболее развитыми гра-нями пиритов околорудно измененных пород являются также (100) и (210). В зависимости от развитости этих граней и определяется облик кристаллов пирита.

3. Грани (100) и (210) кристаллов пирита золоторудных месторож-дений осложнены вертикальной комбинационной или лестничной комби-национной штриховкой с послойным ростом граней. На грани (111) час-то наблюдаются треугольники роста.

4. В золоторудных месторождениях Березовском, Балахчинском, Многовершинном образование пиритов в жилах и гидротермально из-мененных боковых породах, по-видимому, происходило в близких тер-модинамических условиях, на что указывает одинаковая развитость граней в комбинациях кристаллов (рис. 3), одинаковое количество мор-фологических типов кристаллов пирита в жилах и гидротермально из-мененных боковых породах (рис. 2) и близкий характер распределения элементов-примесей в них (рис. 4).

5. Пириты золоторудных месторождений различных типов облада-ют как электронной, так и дырочной проводимостью, и лишь на Люба-винском и Многовершинном месторождениях установлена только элект-ронная и только дырочная проводимость соответственно. Наличие в од-ном месторождении пиритов с электронной и дырочной проводимостью возможно указывает на различие термодинамических условий их фор-мирования в разные стадии гидротермального процесса.

6. Пириты в форме (100) и (210) из вмещающих березитов Бере-зовского месторождения характеризуются одинаковой дырочной прово-димостью, а пириты тех же форм из жил — электронной проводимостью. Следовательно, характер ТЭДС пиритов одного месторождения не за-висит от формы исследуемых кристаллов одной генерации.

7. В сколах кристаллов пирита с дырочной проводимостью часто проявляется электронная проводимость. По-видимому, характер ТЭДС кристаллов пирита зависит от характера и степени деформаций кристаллов.

8. По характеру ТЭДС пиритов золоторудных месторождений опре-деление температуры минералообразования без учета других факторов в высшей степени затруднительно.

9. Изучение распределения элементов-примесей в пиритах золото-кварцевых жил и боковых пород показало, что для пиритов вмещающих пород характерно преобладание никеля над кобальтом, а для пиритов жил — наоборот.

10. Проведенные исследования показали, что пириты большинства гидротермально измененных пород золоторудных месторождений различных типов имеют близкие морфологические черты и физические свойства, что и пириты золото-кварцевых жил, т. е. их формирование происходило в близких условиях и, вероятно, в рудный этап минералообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. К. Абдулаев. Морфология кристаллов пирита с. Карара Кедебекского района. Труды Азербайджанского индустриального института, вып. XV, 1956.
 2. Г. К. Абдулаев. К вопросу о связи морфологии кристаллов пирита с условиями их образования. Докл. АН Азерб. ССР, № 1, 1957.
 3. С. Ш. Генделев. Морфологическая классификация штриховки роста на кристаллах. Записки Всесоюзного Минералогического общества, ч. 90, вып. 6, 1961.
 4. С. И. Голосов. Возможности применения термоэлектрического эффекта для диагностики рудных минералов. «Советская геология», т. IX, 10. 1939.
 5. Ю. В. Казин. О различных морфологических типах кристаллов пирита. В сб.: «Кристаллография», изд. ЛГУ, вып. 5, 1956.
 6. Г. И. Князев, В. К. Куделя. Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий условий рудообразования. Киев, «Наукова думка», 1969.
 7. В. Г. Прохоров. Пирит. Красноярск, 1970.
 8. В. Г. Прохоров, А. Д. Титаренко, И. А. Хайретдинов. Особенности пиритов золоторудных месторождений юга Красноярского края. Материалы Геологической конференции, Красноярск, 1966.
 9. И. Н. Ситковский, Г. К. Абдулаев. Морфологические особенности кристаллов пирита Битти-Булахского месторождения. Записки Всесоюзного Минералогического общества, ч. 86, вып. 4, 1957.
-